Aus d. physiologischen Institut d. Universität zu München.
Direktor: Herr Professor Dr. Frank.

Der Ablauf des Aortenpulses bei kleinen Tieren.

INAUGURAL-DISSERTATION
zur
Erlangung der Doktorwürde
in der gesamten Medizin
verfasst und einer hohen medizinischen Fakultät der Kgl. Bayer. Ludwig-Maximilians-Universität zu München
vorgelegt von

Willy Ockel.

ACAD. LUGD. BAT. BIBL.

München 1913
RUDOLPH MÜLLER & STEINICKE

Gedruckt mit Genehmigung der medizinischen Fakultät
der Kgl. Universität München.

Referent: Herr Professor Dr. Frank.

Dem Andenken meines Vaters!

Durch die in Folgendem beschriebene Untersuchung sollte die streng kardiographisch aufgenommene Bewegung des Herzens oder einzelner seiner Teile in Beziehung gesetzt werden zu der Aortenpulskurve. Auf diesem Wege ist eine Möglichkeit gegeben, den Verlauf der Aortenpulskurve genau zu analysieren. Eine weitere Absicht war, die Aortenpulskurve bei kleinen Tieren und bei Kaltblütern zu registrieren und eventuelle Unterschiede gegenüber dem genau bekannten Pulsablauf bei Kaninchen, Katzen und Hunden festzustellen. Schließlich sollte durch Versuche eine Reihe von neuen Methoden erprobt werden. Die Literatur über mein Thema beschränkt sich, abgesehen von den aus dem Gießner und dem Münchner physiologischen Institut hervorgegangenen Arbeiten, auf eine Untersuchung von Hofmeister, über die ich zunächst berichte.

Referat über die Arbeit von Franz Hofmeister:
„Beiträge zur Lehre vom Kreislauf der Kaltblüter"

(Archiv für Physiologie von Pflüger B. 44. 1889. S. 360. ff.)

Als methodische Vorbemerkung gibt Hofmeister an: die Kröten wurden auf einem Brettchen an den vier Extremitäten in Bauchlage festgebunden und außerdem in halber Höhe des Kreuzbeins oder etwas tiefer durch beiderseits eingesetzte Hacken festgehalten, um die oft sehr heftigen Bewegungen der muskelkräftigen Tiere möglichst zu beschränken und die Verbindungsstelle von Arterie und Kanüle vor Verzerrung zu schützen. Schlangen wurden durch feine Nägel, die er durch Hautfalten steckte, angenagelt, auf einem Lattenstück. Zur Vermeidung von Blutverlust unterband er alle im Wege liegenden Gefäße doppelt und durchschnitt sie. Die Arterie wurde vor Einführung der Kanüle mit einer feinen Charrière-Pinzette, deren Branchen zur Vermeidung von Verletzungen mit feuchten Wattepölsterchen bekleidet waren, zugeklemmt. Dadurch war dafür gesorgt, daß das Herz normale Füllung beibehielt. Um Schädlichkeiten vom Herzen überhaupt fernzuhalten, wurde der Ort der Einführung stets möglichst weit nach der Peripherie zu gelegt. Bei Kröten führte er die Kanüle in der Regel in die Art. cruralis ein; in einer Anzahl von Versuchen in die Aorta, in noch anderen in den Aortabogen, um die Form der Pulse in verschiedener Entfernung vom Zentrum studieren zu können. Bei Ringelnattern fand die Kanüle stets in der Aorta. abdom. ca. 25 bis 30 cm vom Herzen ihren Platz. Als Uebertragungsflüssigkeit diente eine 25% ige Lösung von Magnesiumsulfat. Ergebnisse der Versuche nach Frequenz, Größe des Blutdrucks und der pulsatorischen Schwankung.

A. bufo terestris. Die Mittelzahl der Pulsfrequenz beträgt 48 Schläge in der Minute. Abweichungen bis zu 10 und 15 Schlägen mehr oder weniger kamen so häufig vor, daß sie als normal bezeichnet werden können.

Bezüglich der für den Blutdruck gefundenen Werte ist zu bemerken, daß nicht der in der benutzten Arterie, sondern der

an der nächst höheren Teilungsstelle herrschende Seitendruck gemessen wurde.

Zum Ausgangspunkt der Besprechung nimmt Hofmeister die in der Arteria cruralis bestehenden Verhältnisse, da er an ihr die meisten Erfahrungen gesammelt hat.

Jedes Tier wurde vor dem Versuch gewogen, um Beziehungen der Blutdruckgröße zum Körpergewicht zu erhalten. Eine große Anzahl von Versuchen ergab für die Arteria cruralis bei einem Durchschnittsgewicht von 110 Gramm den Minimaldruck zu 41 mm Hg., den Maximaldruck zu 42 mm Hg. Die pulsatorische Schwankung beträgt demnach 11 mm Hg. und entspricht 27% des Minimaldrucks. Für den Mitteldruck in Arteria cruralis fand er 44—45 mm Hg. In einer Tabelle S. 367 zeigt er das faktische Bestehen des Zusammenhangs zwischen Blutdruck und Körpergewicht: Der Blutdruck (gemessen in der Arteria cruralis, ausgedrückt in mm Hg.) verhält sich zum Gewicht des Tieres (ausgedrückt in Gramm) ungefähr wie 4 : 10.

Am Schluss des Kapitels kommt er zu folgendem Resultat:

1. Der Mitteldruck nimmt nach der Peripherie zu ständig ab.
2. Der Betrag der pulsatorischen Schwankung wird kleiner und zwar absolut wie auch im Verhältnis zum Minimaldruck. Dies wird dadurch bewirkt, daß
3. der Maximaldruck in rascherem Verhältnis abnimmt als der Minimaldruck.

B. Tropidonotus natrix (Ringelnatter). Als Mittel aus sechs Versuchen fand er Folgendes:

Pulszahl in der Minute 60. Druckschwankung in mm Hg. 82 bis 95. Mitteldruck in mm Hg. 87. Pulsgrösse in % des Minimaldrucks 14—15. Beziehungen zwischen Blutdruck und Körpergewicht konnten wegen Gravidität der Tiere nicht festgestellt werden.

Uebersicht über meine Versuche.

Im Ganzen führte ich 27 Versuche an Fröschen, Mäusen und Ratten aus. Eine Uebersicht über sie, die besonders die angewandten Methoden berücksichtigt, gibt folgende Tabelle. Einzelne wichtigere Protokolle sind unten ausgezogen. Vorher beschreibe ich die Methode.

Frosch Manometer	V 1.2
Schwingungsversuche	V 4.7

Frosch lineare Transmission	V 5 (V 20—22 b. V 26)
Wirkung der Narkose	V 6.8
Frosch Hodograph	V 9—15
Kaninchen Hodograph	V 16. 17. 18
Frosch Kinematographie	V 19. 20
Frosch lineare Transmission und Bulbuspelotte	V 15. V 20—22 b
Maus, Aortenkurve	V 23. 24
Ratte, Aortenkurve	V 25. 27
Frosch, Aortenkurve	V 26.

Methode der Froschoperation.

Zuerst erfolgt die Narkose mit Aether. Sie ist zweckmäßiger als durch Injektion von curare, da durch Aether die Contraktionsfähigkeit des Herzmuskels und die Pulsfrequenz sich nicht wesentlich verändert. Die Aethernarkose führte ich so aus: Ein Stückchen Watte mit Aether durchtränkt wird dem Frosch solange vor Maul und Nasenlöcher gehalten, bis er narkotisiert ist. Dann wird der Frosch mit dem Rücken auf eine Korkplatte gelegt und durch die Schwimmhäute der vier Beine mit Nadeln aufgesteckt. Der Wattebausch mit Aether liegt unweit vom Kopf zum Unterhalten der Narkose.

Mit einer Pinzette wird die Bauchhaut über dem Sternum hochgehoben, median mit der Schere durchschnitten. Zu vermeiden ist ein seitlicher Schnitt wegen der großen Hautvenen. Dann faßt man die Spitze des Sternum, hebt sie mit der Pinzette möglichst hoch heraus und schneidet mit der Schere von den Seiten her zur Lösung des Sternum hart an ihm selbst bis in Höhe des Schultergürtels ein. Dort schneidet man das Sternum ab. Das Herz liegt jetzt schon vor, kann aber durch teilweise vorsichtige Resektion des Schultergürtels noch besser frei gemacht werden.

Während einer Systole fasse man den Herzbeutel mit einer und darnach mit der zweiten Pinzette und zerreisse ihn, ohne das Herz aus seiner Lage zu bringen. Das Herz mit dem Bulbus Aortae liegt nun frei vor.

Operation an Mäusen und Ratten.

Eine Maus wird mit Injektion von 1 ccm 3 % tigen Urethan narkotisiert, dann wird sie auf den Rücken gelegt und auf einer

Korkplatte an den Extremitäten aufgesteckt. Nach Eröffnung des Felles zeigt sich am Hals eine große, blutreiche Drüse, die am besten von der Seite her stumpf entfernt wird. In der Tiefe zu beiden Seiten der Drüse laufen zwei Venen. Nach Entfernung der Drüse sieht man auf der Trachea zwei längsverlaufende Muskel liegen, die stumpf zur Seite geschoben werden. Hierauf folgt der Einschnitt in die freiliegende Trachea, dann das Einführen einer Kanüle im Gesamtquerschnit von 1 mm; die Kanüle hat an der Seite ein Loch. An die Kanüle wird ein Gummiballon zum intermittierenden Aufblasen der Lunge angebracht. Nach Eröffnung des Thorax tritt das Gebläse in Funktion.

Eine Ratte von 135 Gramm erhält 4 ccm 3% igen Urethan intraperitoneal injiciert.

Die anatomischen Verhältnisse sind die gleichen wie bei der Maus. Die Technik ist dieselbe.

Uebersicht über die Registrier-Methoden.

Die Methoden, die zur Registrierung verwandt wurden, waren die Folgenden:

1. Die Registrierung der Bewegung einzelner Herzpunkte durch den unten näher beschriebenen Hodographen.
2. Dieselbe Registrierung durch lineare Lufttransmission auf optischem Wege.
3. Verzeichnung des Aortenpulses mit Transmissionseinrichtung in ähnlicher Weise wie bei der Methode 2.
4. Rein kinematographische Aufnahmen der Herzbewegung.
5. Versuch einer manometrischen Registrierung des Aortenpulses bei dem Frosch.

Der Hodograph.

Der Hodograph hat die Aufgabe, die Bewegungen einzelner Punkte der Herzoberfläche zu registrieren. Bei dem Frosch gelingt dies in einfacher Weise dadurch, daß man intensiv beleuchtete Quecksilberkügelchen auf der Oberfläche fixiert, von ihnen ein Bild auf den Film entwirft und die Zeitmomente durch passende Unterbrechung des Strahlengangs fixiert. Nach einer Reihe von Vorversuchen haben sich die Quecksilberkügelchen als besonders geeignet erwiesen. Vorher wurden Silberkügelchen verwendet. Sie lassen sich aber nur schwer kugelförmig herstellen,

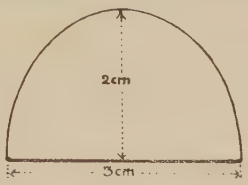
besonders da sie eine vollständig glatte polierte Oberfläche erhalten müssen. Außerdem oxidieren sie sehr bald. Um die Quecksilberkügelchen auf der Oberfläche zu fixieren wird folgendermaßen verfahren. Aus rauhem schwarzen Papier werden kleine annähernd quadratische Stückchen ausgeschnitten. In sie wird mit einer Nadelspitze eine feine Vertiefung eingestochen, in der die Kügelchen besonders wenn man die Oberfläche des Papiers mit etwas gelöstem Kautschuck bestreicht, die Quecksilberkügelchen leicht haften. Sie sind sehr klein besitzen einen Durchmesser von etwa 3,0 mm. Bei Kaninchen benutzten wir in kleinste Glaskugelchen eingeschlossene Quecksilbertropfen. Die Beleuchtung geschieht in folgender Weise: Durch eine Bogenlampe und eine Kollektorlinse (kleine Zeiß-Linse I für Mikroprojektion) wird ein in der Länge und der Breite verstellbarer Spalt beleuchtet. Von diesem Spalt wird durch eine Linse von wechselnder Brennweite ein Bild in eine Entfernung von etwa 50 cm. bis 1 Meter entworfen. Hinter der Linse wird das bis dahin horizontale Strahlenbündel durch ein hinter der Achse des Projektionsobjektives befindlichen Spiegel nach unten abgelenkt. Hier befindet sich das Herz, auf dem ein Bild des Spaltes entworfen wird. Senkrecht über diesem Teil der Herzoberfläche ist das Projektionsobjektiv. (Zeiß-Tessar F: 3,5). Auf verschiedene Entfernungen einstellbar befestigt. Ueber dem Objektiv befindet sich ein im Winkel von 45 Grad gegen die Achse des objektiv geneigter auf der Vorderseite versilberter Spiegel. Dadurch wird der von der Herzoberfläche bis zu dem Objektiv senkrechte Strahlengang in horizontaler Richtung abgelenkt; und das Bild auf einen Film projeziert, der durch ein Uhrwerk in horizontaler Richtung bewegt wird. Der Strahlengang ist im Ganzen so wie bei dem Episkop. Der Unterschied besteht nur darin, daß ein spaltförmiges Feld zur Projektion gelangt. Die Beschränkung auf dieses schmale Feld ist notwendig, damit die Erwärmung nicht zu intensiv wird. Außerdem kann überhaupt nur die Bewegung der Kügelchen registriert werden, die ungefähr in einer Geraden liegen. Die Kügelchen bewegen sich nicht nur in einer Richtung sondern in drei Dimensionen. Von diesen Richtungen kann man durch die geschilderte einfache Projektion zwei registrieren, wenn man den Strahl in bestimmten kurzen Zeitintervallen unterbricht. Dies geschieht dadurch, daß ganz nahe hinter dem Spalt ein

Speichenrad durch ein Uhrwerk getrieben sich bewegt. Die Speichen unterbrechen in bestimmten Intervallen den Strahlengang. Um die einzelnen Unterbrechungen auf den verschiedenen Kurven bestimmt ermitteln zu können ist es notwendig, daß etwa jede fünfte Unterbrechung besonders gekennzeichnet wird. Dies ist dadurch ermöglicht, daß jede fünfte Speiche doppelt ist. So ist also die relative Lage aller auf der Herzoberfläche angebrachten Kügelchen für jeden Zeitmoment festzustellen. Es ist nun von wesentlicher Bedeutung besonders für den Anfang der Analyse, da alle mit der neuen Methode aufgenommenen Kurven neuartig erscheinen, neben den Hodographenkurven noch eine andere aufzunehmen. Wir haben beim Froschherzen den Aortenpuls bevorzugt. Es läßt sich aber natürlich auch die Vorhofkurve oder irgend eine andere charakteristische Bewegung eines Herzabschnittes aufnehmen. Die Registrierung geschieht durch innere optische Transmission. Der bewegende Teil wirkt auf eine Geberkapsel (von der Form einer Segmentkapsel) die Bewegung wird transmittiert auf eine optische Registrierkapsel (Segmentkapsel.) Um auf dieser Kurve die selben Zeitmomente zu markieren, steht auf derselben Höhe wie der Spalt für die eigentliche Hodographeneinrichtung ein horizontalgestelltes Nernstäbchen. Die Strahlen, die von ihm ausgehen, werden im gleichen Moment unterbrochen wie der Hodographenstrahl, nämlich durch die diametral der den Hodographenstrahl unterbrechenden Speiche gegenüber stehende Speiche des Speichenrades. Der Strahlenbündel geht von den Nernstäbchen durch eine achromatische Linse, die es parallel macht. Von dort zu einer weiteren, die das Nerststäbchen in irgend einer Ebene abbildet. Von dort wird es nochmals durch die eigentliche Objektivlinse auf dem Film nach der Ablenkung durch die Spiegel der Segmentkapsel durch einen festen in den Strahlengang des Hodographen gelegten Spiegel abgebildet. Die erste Abbildung durch die zwei ersten Linsen hat den Zweck, eine bequeme Einstellung zu ermöglichen. Es braucht nur die zweite Linse verrückt zu werden, um das Nernstäbchen in einer beliebene Ebene ohne Aenderung der Vergrösserung abzubilden.

Die mit diesem Apparat erhaltenen Kurven erscheinen äußerst präzis und charakteristisch.

Die lineare optische Lufttransmission.

Die Aufnahme des Pulses bei Fröschen und Ratten wurde mit Frank'schen Segmentkapseln und Lufttransmission in Verbindung mit einer Frank'schen optischen Kapsel vorgenommen. Wir verwendeten eine Segmentkapsel von folgenden Dimensionen:



Sie wurde mit 0,12 mm dickem Gummi überzogen. Auf die Membrane wurde eine Platte aus Aluminiumblech von 15 cm Höhe aufgeklebt, die in einem Fortsatz von 2,5 cm auslief. Dieser Fortsatz war ausgebogen und lief in eine klein gebogene Platte aus, die auf die Arterien aufgepreßt wurde. Eine Feineinstellung mit Trieb gestattet den Auflagedruck zu variieren.

Die Bewegungen der Pelotts wurden durch einen zirka 60 cm langen Gummischlauch auf eine Frank'sche optische Kapsel 0,8 cm Durchmesser übertragen. Auf dieser war in üblicher Weise ein kleiner Spiegel aufgeklebt der sich entsprechend den Ausbauchungen der Membrane um eine Achse drehte. Vermittelst eines Objektives von 20 cm Brennweite wurde in gewohnter Form das Bild eines Nernstäbchen entworfen und durch den Spiegel der Segmentkapsel so reflektiert, daß das Bild auf dem Spalt eines optischen Kymographium entstand.

Die Bewegungen von Vorhof und Ventrikel wurden teilweise mit linearer Transmission aufgezeichnet. Hierzu wurde ein Faden an diese Teile angebunden oder angenäht, der an der Spitze des Fortsatzes des soeben beschriebene Sementkapsel angriff.

Das optische Kymographium.

Wir verwendeten zur photographischen Registrierung ein verbessertes Frank'sche Kymographium das folgendermassen beschaffen war:

Die Trommel dreht sich in einem lichtdichten Zylinder. Sie besitzt einen Umfang von 50 cm, 40 cm sind hiervon zur Aufnahme des Films, 10 cm für die zum Aufziehen und Herausnehmen vorgesehenen Einrichtung bestimmt.

Die Trommel hat einen zentralen Raum, der es gestattet eine große Rolle mit zirka 20 m Film, unterzubringen. Von dieser Rolle wird der Film an den schwarzes Papier in genügender Menge aufgewickelt ist, um die Trommel gezogen und an einer zweiten kleineren Rolle, die in dem oben erwähnten 10 cm breiten Raum drehbar eingerichtet ist, befestigt. Diese Aufnahmerolle steht in einer mit samt der Rolle herausnehmbaren Blechkassette. Der Einlauf des Films in die Kassette ist mit Sammet lichtdicht verschlossen. Der gesamte nicht vom Film bedeckte Raum, in dem diese Einrichtung Platz findet, kann durch einen von dem die Trommel bedeckenden Zylinder aus gegen die Trommel ausdrückbaren Balg gegen den anderen Raum durch Drehung einer außen angebrachten Schraube abgedichtet werden. Hierdurch ist es möglich, von dem zur Verfügung stehenden 20 m Film eine beliebige Menge zur Aufnahme zu verwenden und diese bei Tageslicht nach Durchschneiden der kurzen freiliegenden Filmstrecke zur Entwicklung herauszunehmen. Da man Aufnahmerolle und Kassette sogleich durch eine gleichartige ersetzen kann, ist das Kymographium sofort wieder aufnahmebereit. Der Verschluß, der durch einen geschlitzten drehbaren Zylinder dargestellt wird, wird elektromagnetisch ausgelöst, sodaß stets dieselbe Filmmenge belichtet wird. Das Kymographium wird durch ein ebenfalls elektromagnetisch auslösbares Uhrwerk gedreht. Ein kleiner, an geeigneter Stelle des Kymographiums angebrachter photographischer Apparat gestattet notwendige Notizen sofort am Ende der gemachten Aufnahme photographisch zu fixieren.

Eine neue Einrichtung ermöglicht es, die gesamten Funktionen: Anlaufen des Kymographiums, Verschlußöffnung-Schließung, Stehenbleiben, Notiz-Photographie automatisch vorzunehmen, sodaß sich die Handhabung der scheinbar sehr komplizierten Einrichtung in einfachster Weise gestaltet. Das wesentliche dieser neuen Einrichtung ist ein Maltheserkreuz mit einer Teilung in 6 Sektoren, das an einer an der Achse des Kymographiums zentrisch angebrachten kreisrunden Scheibe schleift und durch an ihr angebrachte Stifte gedreht wird. Um eine rasche Umschaltung für Aufnahmen

von 20 cm Länge auf 40 cm zu ermöglichen, ist die Scheibe doppelt so dicht als das Maltheserkreuz und hat auf ihren beiden Hälften je drei verschieden gestellte Stifte, die nur bis zur Hälfte reichen, sodaß die einfache Verschiebung des Maltheserkreuzes durch einen Exzenter (Exzenter I) um seine eigene Dicke die Umschaltung bewirkt. Das Maltheserkreuz setzt bei seiner Umdrehung zwei Achsen in Bewegung, die eine direkt und eine zweite durch eine Zahnradübersetzung im Verhältnis 1:2. Auf den beiden Achsen sind je zwei kleine kreisrunde Scheiben mit Einschnitten übereinander angebracht, welche sich durch einen zweiten Exzenter (Exzenter II) gegen die Platten senkrecht so verschieben, sodaß man durch diese Umschaltung die zwei Schlüssel entweder an den oberen oder an den unteren Platten schleifen lassen kann. Diese Einrichtung dient zur Auslösung des Verschlusses und zur Schaltung der Elektromagneten und zwar schaltet der an der Achse I schleifende Schlüssel den Verschluß, der an der Achse II das Uhrwerk. Schlüssel I (entsprechend den Achsen benannt) ist als einfacher Schlüssel, Schlüssel II als Korrespondenzschalter eingerichtet. Mit ihm ist ein mit der Hand auszulösender Korrespondenzschalter durch eine lange Schnur verbunden, der auf dem Experementiertisch Platz findet. Er bewirkt die Auslösung des gesamten Mechanismus. Wie aus dieser Anordnung hervorgeht, entspricht einer Umdrehung des Kymographium eine halbe Umdrehung der Achse I und 1/4 Umdrehung der Achse II und jede Umdrehung des Kymographiums ermöglicht drei verschiedene Takte an jeder Achse, sodaß wir mit Schlüssel I sechs verschiedene Takte, mit Schlüssel II zwölf verschiedene Takte auslösen können. Durch geeignete Einrichtungen der Einschnitte auf den Kontaktplatten sind die beiden unteren so eingerichtet, daß der gesamte mechanische Vorgang sich nach einer Umdrehung wiederholt, die oberen so, daß die Dauer einer gesamten Revolution gleich zwei Umdrehungen des Kymographium ist. Das Arbeiten mit dieser Einrichtung gestaltet sich folgendermaßen. Als Aufnahmemöglichkeiten bestehen folgende:

I. Langsame Geschwindigkeiten bis ca. 10 cm des Kymographiums. Das Kymographium dreht sich einmal (Hochstand des Exzenters 2. Durch Drehen des Exzenters 1 kann man die belichteten Filmstrecken von 20 auf 40 cm verändern).

1. Man legt den auf dem Experimentiertisch befindlichen

Korrespondenzschalter um. Das Kymographium beginnt zu laufen. Automatisch folgt dann

a) am Anfang des zu belichtenden Films: Öffnung des Verschlusses durch Schlüssel I.

b) Nach 17 resp. 37 cm Schluß des Verschlusses durch Schlüssel I.

c) Nach kurzer Zeit bleibt das Kymographium automatisch (durch Umlegen des Korrespondenzschalters von Achse II) stehen und zwar genau so, daß die freigebliebene Stelle von 3 cm Breite gegenüber dem Notizphotographierapparat steht. Darnach erfolgt

2. die Notizphotographie, durch Schließen eines Schlüssels (mit der Hand), der eine automatische Bogenlampe von 6 Ampere entzündet, welche die Notizen, die auf einem Brette mit Falzen eingeschoben werden, beleuchtet und gleichzeitig automatisch den Momentverschluß des Photographierapparates auslöst. Es bleibt dann nur

3. übrig, das belichtete Filmstück (20 resp. 40 cm) aufzuziehen. Und die nächste Aufnahme kann gemacht werden.

II. Rasche Geschwindigkeiten (über 10 cm-Sekunden, Tiefstand des Exzenters 2. Filmstrecke wie bei I, durch Exzenter 1 verändert).

1. Wie bei I. Automatisch folgt dann

a) Das Kymographium macht eine Umdrehung, ohne daß der Verschluß sich öffnet und bekommt dadurch eine gleichförmige Geschwindigkeit.

b) Bei der zweiten Umdrehung Öffnen des Verschlusses am Anfang des Films.

Weiter bei I.

Um außerdem noch die Möglichkeit zu haben, dauernd die Anzahl der gemachten Aufnahmen zu kontrollieren, ist in dem Verschlußstrom eine elektromagnetische Zählvorrichtung eingeschaltet, die auf dem Brett für die Notizen angebracht ist. Ihre Nummern werden gleichzeittg mit den Notizen und der Uhr auf den Film photographich fixiert. Auf diese Weise können dann auch später keinerlei Zweifel entstehen, auf welche Aufnahme sich andere Protokollnotizen, wenn man sie stets mit der Nummer des Zählwerks versieht, beziehen.

Das Bedürfnis verschiedenartiger Einwirkungen während des Versuchs an einer bestimmten Stelle des Films vorzunehmen, zum Beispiel einen Nervenreiz oder die Auslegung einer Eigenschwingung haben uns dann noch dazu geführt, noch eine andere elektrische Verschluß-Einrichtung anzubringen. Sie besteht aus einer Hartgummischeibe mit zwei Schlüsseln. Die Schlüssel werden durch an ihnen schleifende, an der Achse des Kymographiums zentrisch befestigte auswechselbare Scheiben mit verschiedenartigen Einschnitten geöffnet resp. geschlossen. Um unbeasichtigte Reize bei der Umdrehung auszuschliessen, sind diese Stromkreise noch durch eine Relais kurz geschlossen, welches auch mit dem Verschlußstrom parallel geschaltet ist und nur geöffnet wird, währenddem der Verschluß offen ist.

Auszug aus den Versuchprotokollen.

V. 2. 14. XII. 10. Frosch. Optisches Manometer. Lineare-Transmission. Beginn der Vorhofkontraktion durch deutliches Hinaufrücken der Atrioventrikulargrenze markiert. Beginn der Ventrikelkontraktion herabrücken der Atrioventrikulargrenze sowohl an der Grenze zwischen Vorhof und Ventrikel direkt als auch am Aortenbulbus; also beim Beginn der Ventrikelkontraktion rückt sowohl der Vorhof als der Aortenvorhof nach unten. Mit dem Aortenbulbus rücken auch die großen Gefäße nach unten.

V. 5. 22. XII. 10. Frosch. Curare. Beginn der Operation 3 Uhr 34 Min. Bei der Kontraktion des Ventrikels steigt die Basis nach unten. Faden für die lineare Transmission am Ventrikel und Bulbus angenäht, am Vorhof angebunden. Wirkung einer verschiedenen Spannung des Fadens. V. 6. 24. 12. 10. Frosch. Wirkung der Narkose. Frosch. Beginn der Operation 10 Uhr 12. Herzfenster. Bei einer allgemeinen Muskelkontraktion wird das Herz aus seiner Lage stürmisch herausgehoben. 10 Uhr 21 Curare-Injektion in die rechte Seite. Pericart auf der ganzen Herzfläche frei gelegt. 10 Uhr 34 Lähmung ist eingetreten. Bei Beginn der Operation sehr kräftige Kontraktionen. Die Basis des Ventrikels tritt bei der Kontraktion stark nach unten. Nach der Wirkung des Curare von 10 Uhr 32 ab wird die Kontraktion etwas schwächer und seltener (52/46). 10 Uhr 12 46 Herzschläge.

Ähnlich verhält sich ein zweiter Frosch.

V. 8.—28. III. 1910. Wirkung der Narkose.

Narkose mit Äther. 3 Uhr 37 Beginn der Operation, 3 Uhr 33 Ende der Operation. 3 Uhr 45 40 Ventrikelkontraktionen in der Minute, 4 Uhr 10 Bewegung der Ventrikel-Basis von oben nach unten $1^3/_4$ mm, Breite der Vorhöfe bei Diastole 8 mm, Breite der Vorhöfe bei Systole 6 mm, 4 Uhr 29 40 Ventrikelkontraktionen in 40 Sekunden. 4 Uhr 32 die rechte Aorta abgeklemmt. 4 Uhr 34 40 Ventrikelkontraktionen in 32 Sekunden. 4 Uhr 36 beide Aorten abgeklemmt; Kontraktionen sehr schwach, Herz herausgehoben. 40 Ventrikelkontraktionen in 36 Sekunden. 4 Uhr 41 beide Klemmen gelöst. Ventrikel füllt sich nur schlecht mit Blut. 4 Uhr 42 Typus wieder mehr normal, die linkere obere Hälfte des Ventrikels entleert sich nicht ganz. Narkose unterbrochen. 4 Uhr 47 heftige Schluckbewegungen, neue Äthernarkose, 4 Uhr 52 Abwärtsrücken der Basis 1.8 mm, 5 Uhr Curare injiziert. 5 Uhr 08 gelähmt, 5 Uhr 10 40 Ventrikelkontraktionen in 41 Sekunden, 5 Uhr 14 40 Ventrikelkontraktionen in 45 Sekunden. 5 Uhr 22 Stich in die rechte Aorta, heftige Blutung, Kontraktionen werden schwach, 40 in 41 Sekunden. Herzbasis nur ganz geringe Verschiebung. 5 Uhr 30 40 Pulse in 35 Sekunden. Ringerinfusion in's rectum und unter die Haut an Bauch und Rücken. 5 Uhr 41 Kontraktionen wieder etwas kräftiger. Die Basis des Ventrikels geht wieder abwärts. Die rechte Aorta unterbunden. 40 Pulse in $34^2/_{10}$ Sekunden. 5 Uhr 52 den Frosch in Ringerlösung gelegt. 6 Uhr 40 Kontraktionen in 67 Sekunden. Herzbasis rückt stark abwärts. 7 Uhr Vorhof entleert sich nicht mehr vollständig. 40 Pulse in 176 Sekunden.

29. XII. 10 Uhr 28 Vormittags 40 Pulse in 70 Sekunden. Curarewirkung hört auf. 10 Uhr 52 neue Curare-Injektion. 10 Uhr 59 gelähmt. 40 Pulse in 75 Sekunden. Ventrikel entleert sich wieder vollständig.

V. 9 – 1. III. 1911. Frosch. Hg.-Kügelchen auf gehärtetem Filter.

V. 10—3. III. 11. Hodograph. 4 Uhr 23 Beginn mit der Äthernarkose. 4 Uhr 27 narkotisiert. 4 Uhr 28 Beginn der Operation. Vorhof angeseilt (angeknüpft). Mitte der Ventrikelbasis Hg.-Kugel. In der Nähe der Herzspitze Hg.-Kugel. 4 Uhr 49 Ende der Operation. Öffnung des Objektivs F/4-5 bis 7/8. Stromstärke der Bogenlampe 8—15 Amp.

V. 11—6. III. 11. Hodograph-Kügelchen auf Ventrikel, lineare Transmission d. Vorhofs. Öffnung F/4.5 b. F/16. Stromstärke 7.5 Amp.

V. 12—8. III. 11. Hodograph. Vorhof. Öffnung F/8. Stromstärke 7.5 Amp.

V. 13—9. III. 11. Frosch bei Operation starke Blutung. Hodograph. Ein Kügelchen an der Basis, eines nahe der Herzspitze. Öffnung F/8. Stromstärke 7 5 Amp.

V. 14—9. III. 11. Hodograph. 3 Kügelchen: an der Spitze, auf der Mitte des Ventrikels und dem Aortenbulbus. Sonst wie V. 13.

V. 15—14. III. 11. Frosch. Registrierung mit der Segmentkapsel und Pelotte von Aortenbulbus. Vorhof und Ventrikel.

V. 16—15. III. 11, Kaninchen. Hodograph-Kügelchen an Spitze und Basis. Rechtes Herzohr angeseilt. Vorhof angeseilt.

V. 17—16. III. 11. Kaninchen Hodograph. Basis und Spitzenkügelchen. Vorhof. Linkes Herzohr angeseilt. F : 6, 15 Amp.

V. 18—17. III. 11. Kaninchen. Rechtes Herzrohr angeseilt. Basis und Spitzenkügelchen. F : 3—5. 15 Amp.

V. 19—19. III. 11. Kinematographie des Froschherzens. 15 und 30 Amp.

V. 20—20. III. 11. Kinematographie des Froschherzens. Wie V. 19.

V. 21 a. 17. V. 11. Frosch. Vorhof und Ventrikel mit Fadentransmission. Starke Ausschläge.

V. 21 b. 17. V. 11. Frosch. Ventrikel mit Fadentransmission. Bulbus mit Pelotte.

V. 22 a. Frosch, wie V. 21 b.

V. 22 a. 18. X. 12. Frosch, wie V. 21 b.

V. 23. 22. X. 12. Maus. Segmentkapsel mit Pelotte auf Aorta.

V. 24. 25. X. 12. Maus, wie V. 23.

V. 25. 31. 10. 12. Ratte. Gewicht 135 gr. 4 cm. 3% igen Urethan intraperiloneal. 1. Pelotte auf rechter Carotis $^1/_2$ mm Durchmesser; ebenso auf Aorta. Erstickungskurven.

V. 26. 13. XI. 12. Frosch. Aethernarkose. 1. Pelotte auf Bulbus und linker Aorta.

V. 27. 14. XI. 13. Ratte. 4 ccm. 3% Urethan. Tracheotomie künstliche Atmung. Pelotte auf Carotis und Aorta. Erstickungskurven.

Die Leistungen der Registrier-Methoden.

Zuerst (V 1 und 2) versuchten wir den Blutdruck bei dem Frosch in der Aorta manometrisch aufzuschreiben und zwar be-

nutzten wir ein optisches Manometer. Das Manometer war zwar empfindlich genug, daß es die geringsten Druckschwankungen verzeichnen konnte, aber ich sehe von einer Beschreibung der so erhaltenen Kurven ab, weil ich sie nicht für zuverlässig halte. Es erscheint wohl unmöglich, eine Kanüle zur Verbindung des Gefäßsystems mit dem Manometer bei einem kleinen Frosch in einen Zweig der Aorta einzubinden, man muß die eine Aorta selbst benutzen. Durch die Unterbindung wird aber der Kreislauf so gestört, daß die Kurven gewiß nicht als normal bezeichnet werden können. Allerdings würde man sich so auf diese Weise informieren können, ob der Klappenschluß in der Kurve zum Ausdruck kommt, aber bei unseren Versuchen war der Blutverlust doch so stark, daß auch diese Feststellung nicht sicher gelang. Dabei ist zu bemerken, daß wir bei diesen ersten Versuchen noch die den Kreislauf außerordentlich schädigende Curarisierung anwandten. Es ist wohl zweifellos, daß auf Grund unserer späteren Erfahrung eine gute Registrierung mit optischen Manometern wohl möglich gewesen wäre. Da aber derselbe Zweck, nämlich den Ablauf der Pulskurve zu bestimmen, mit dem Transmissionssphygmographen einfacher und sicherer zu erreichen ist, haben wir uns schließlich allein dieser Methode bedient.

Daß der Transmissionsphygmograph eine vorzügliche Registrierung ermöglicht, geht daraus hervor, daß er bei den kleinen Säugetieren (Ratten) die kurzen Schwingungen des Aortenpulses sicher wiedergibt.

Die Bewegungen des Herzens wurden teilweise durch lineare Transmission verzeichnet. Die Methode ist sicher sehr gut geeignet, um die Aufeinanderfolge der Kontraktionen der einzelnen Herzabteilungen zu registrieren, dagegen unbrauchbar, um genau den Verlauf der Kontraktionen bei kleinen Tieren, wie dem Frosch, zu verzeichnen. Dafür ist die Rückwirkung zu groß, sodaß sie mehr eine kraftregistrierende Methode in diesen Fällen darstellt, als eine bewegungsregistrierende d. h. eigentlich eine Mittelform zwischen beiden.

Man kann dies daraus schließen, daß die hodographischen d h. durch reine Bewegungsregistrierung erhaltenen Kurven ganz anders verlaufen als die mit den linearen Transmissionen erhaltenen. Gute Beispiele hiefür liefern die Versuche 5, 20—22, im Vergleich mit den Ergebnissen der Versuche 9—15. Der quan-

titative Nachweis dieser Verschiedenheiten, der durch gleichzeitige Registrierung mit dem Hodographen und der Lufttransmission zu erfolgen hätte, steht noch aus. Selbstverständlich ist aber die optische Transmissionsmethode wesentlich leistungsfähiger als eine Hebemethode, selbst als die direkte Registrierung mit dem Suspensionshebel. Die optische Lufttransmission wird höchst wahrscheinlich vorzüglich brauchbar sein für die kardiographische Registrierung bei größeren Tieren, bei denen die Rückwirkung im Verhältnis zu den verfügbaren Kräften nicht so groß ist, daß die Bewegungen des Herzens selbst wesentlich gestört werden. So werden die in der Abhandlung von Klump festgestellten Tatsachen ihren dauernden Wert haben. Die dynamische Rückwirkung der optischen Lineartransmission ist jedenfalls sehr gering, denn die Schwingungszahl des Systems ist immer noch vergleichsweise sehr hoch, wie die folgende Tabelle zeigt. Die Schwingungen wurden durch Anstoß ausgelöst.

Vers. Nr.	Meß-Nr.	Kapsel	№
V 7 Nr. 14	I/II	Aufnahme-	58
V 7 Nr. 14	III/IV	Registrier-	62
V 7 Nr. 14	V/VI	Aufnahme-	58
V 7 Nr. 14	VII/VIII	Registrier-	64
V 7 Nr. 15	I/II	Aufnahme-	101
V 7 Nr. 15	III/IV	Registrier-	91

Ergebnisse der Untersuchung.

a) Das Kardiogramm des Froschherzens:

Die hodographische Untersuchung hat einige bemerkenswerte Tatsachen gefördert. Was man schon durch die bloße Besichtigung des schlagenden Froschherzens feststellen kann, daß nämlich bei der Diastole des Herzens die Basis kopfwärts rückt und bei Systole sich herabbewegt, während die Spitze sich nur relativ wenig in dieser Richtung bewegt, wird durch die Beobachtung der Bewegung des Basisknöpfchens graphisch registriert. Es zeigt sich ferner, daß das Heraufsteigen der Basis bei der Füllung rascher vor sich geht, als das Herabsteigen bei der Entleerung. Wenigstens während der Zeit, in der der Vorhof sein Blut in den Ventrikel wirft. Dieser Teil der Diastole spielt sich also rascher

ab als die Systole d. h. ganz anders, als man das vermuten sollte, nach den Beobachtungen am ausgeschnittenen Herzen bei dem der Vorhof abgeschnitten ist.

Weiter ist bemerkenswert, daß mit dem Beginn der Systole Schwingungen des Herzens auftreten, die wesentlich in die Anspannungszeit fallen und das Analogon des ersten Herztones darstellen dürften. Die Schwingungen sind bei dem Froschherzen deutlich, aber nur schwach ausgedrückt; bei dem Warmblüterherzen dagegen sehr stark und zwar erfolgen sie nicht blos in der Richtung von oben nach unten, sondern auch nach der Seite. Bei dem Beginn der Diastole steigt die Hodographenkurve auch einige, aber langsame Schwingungen an. Ihre Ursache aber bedarf noch der Erklärung.

b) Der Aortenpuls bei kleinen Warmblütern und dem Frosch.

Mit der Lufttransmissionsmethode haben wir den Aortenpuls bei dem Frosch sehr gut aufzeichnen können. Der Blutverlust bei der Operation muß dann möglichst eingeschränkt werden und die Narkose darf auf das Herz nicht schädigend einwirken (Vgl. oben). Die Kurve ist wesentlich einfacher, als bei dem Warmblüter, sie ist fast vollkommen frei von Nebenschwingungen. Nicht zu erkennen ist die Vorschwingung, die durch die Ventrikelkontraktion hervorgerufen wird und die zeitlich dem ersten Herzton entspricht. (Vergl. oben). Dagegen ist die Vorschwingung, die durch die Bewegung des Vorhofs hervorgerufen wird, sehr ausgeprägt. Dieser Unterschied beweist wieder, daß die Vorschwingungen nicht durch den vom Vorhof oder Ventrikel ausgeübten Druck hervorgerufen werden, sonst müßte die Ventrikel-Vorschwingung stärker ausgeprägt sein, — sondern daß es sich um eine kardiographische Vorschwingung handelt. Die Anfangsschwingung ist in dem Puls überhaupt nicht zu entdecken. Dagegen wird der Eintritt der Diastole durch eine deutliche Incisur markiert. Die Kurven sehen etwa so aus, wie die früher von O. Frank bei dem künstlichen Kreislauf erhaltenen Pulse. An der Incisurstelle tritt nur ein Knick auf, ohne daß es zu Nachschwingungen kommt. Die ganze Form des Pulses ist diejenige, die als Grundform zu erwarten ist, d. h. allein durch die Windkesselwirkung bedingt und nicht durch sekundäre Schwingungen entsteht.

Wesentlich von der Aortenpulskurve des Frosches unterscheidet sich der Aortenpuls der Ratten. Bei den Mäusen eine gute Kurve zu bekommen, war vorläufig nicht möglich, da die Tiere doch für die Anwendung der Transmission zu klein sind. Mit direkter Spiegelregistrierung würde man dagegen wohl auch bei Mäusen zum Ziele kommen, aber das Ergebnis der Aufnahme bei den Ratten ist so eindeutig, daß es keinem Zweifel unterliegt, daß der Puls bei den Mäusen ganz derselbe ist. Der Aortenpuls der Ratten unterscheidet sich nämlich prinzipiell gar nicht von demjenigen der größeren Warmblüter, der Hunde, Katzen und Kaninchen. Er zeigt die Vorschwingungen, die Anfangsschwingungen, die letztere bei schwach kontrahiertem Gefäßsystem außerordentlich deutlich und die Incisur mit ihren Nachschwingungen. Nicht zu bemerken war die Schwingung, die von Frank einer Reflexion in einem bestimmten, relativ kurzem Gefäßgebiet, zugeschrieben worden ist, etwa der Carotis, die noch während des systolischen Teiles des Pulses eintritt. Interessant ist ferner, daß die Nachschwingung hinter der Incisur wiederholt positiv d. h. höher als der Abstieg ausgefallen ist, eine Erscheinung, die nach noch nicht veröffentlichten Versuchen von Brömser und Frank auf Widerstoßwirkung zurückzuführen ist.

Bemerkenswert ist auch das Verhalten der im diastolischen Teil des Pulses auftretenden langsamen Schwingungen. Sie folgen in einem Abstand von $\frac{1}{8.7} = 0.115^{11}$ aufeinander (V. 25 No. 7 Vagusreizung), der nicht wesentlich von der gleichen Größe bei dem Hund abweicht. Außer der Länge des Gefäßsystems müssen also noch andere Einflüsse, wahrscheinlich der Elasticitätskoiffficient der Wand und die Größe des Querschnittes der Gefäße mitspielen.

Durch meine Versuche ist vor allem demonstriert worden, daß der zentrale Puls unabhängig ist von der Tiergröße und unabhängig von der Tierart. Daß beim Kaltblüter fast rein die Grundform des Pulses heraustritt, liegt im wesentlichen daran, daß die ganze Bewegung bei ihm viel langsamer ist und dadurch alle Stoßwirkungen von geringerer Bedeutung sind.

Lebenslauf.

Ich bin geboren am 31. X. 1882 zu Wiesloch bei Heidelberg. Ich besuchte die Volksschulen zu Wiesloch, Stuttgart und die Gymnasien zu Gießen, Darmstadt und Dillenburg. 1903 machte ich das Abiturientenexamen zu Dillenburg und war dann bis 1908 Offizier. Hierauf ging ich zur Reserve und studierte 10 Semester Medizin. 1913 bestand ich das ärztliche Staatsexamen.

Zum Schluss will ich meinem hochverehrten Lehrer Herrn Professor Frank für die Anregung zu den Untersuchungen meinen aufrichtigen Dank sagen.

Ebenso danke ich ihm und Herrn Dr. Brömser für die Hilfe bei der Durchführung der Experimente.